

Анализ составляющих удельных затрат (СМР, ПИР, доставки) выявил, что стоимость СМР и доставки для ВЭУ фирмы Komai существенно выше, чем у ВЭУ фирмы Vergnet за счет повышенной стоимости строительства фундамента под ВЭУ (следовательно, и повышенной стоимости доставки за счет большего объема материалов для строительства фундамента), монтажа ВЭУ на площадке строительства, высокой стоимости аренды кранов (см. табл.).

В результате проделанной работы были получены эмпирические зависимости, позволяющие определить удельные капитальные затраты ВЭС и их составляющие от количества ВЭУ с различной установленной мощностью до 1 МВт на полуострове Камчатка.

#### Список использованных источников

1. Дерюгина Г. В., Малинин Н. К., Пугачев Р. В., Шестопалова Т. А. Основные характеристики ветра. Ресурсы ветра и методы их расчета: учебное пособие. – М. : Изд-во МЭИ, 2012. 260 с.

УДК 621.039

## **ПРИМЕНЕНИЕ КАРБИДА БОРА В СТЕРЖНЯХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ИННОВАЦИОННЫХ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ**

## **APPLICATION OF BORON CARBIDE IN THE RODS SYSTEM CONTROL AND PROTECTION OF INNOVATIVE FAST NEUTRON REACTORS**

Бибик И. С., Вальцева А. И.

Томский политехнический университет, г. Томск  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
ira.bibik.95@mail.ru

Bibik I. S., Valtseva A. I.  
Tomsk Polytechnic University, Tomsk  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В данной работе рассмотрено применение карбида бора в качестве поглотителя для стержней системы управления и защиты реакторов на быстрых нейтронах. Описано уникальное конструкционное решение поглощающих элементов. Также приведено сравнение карбида бора и европия, в качестве поглотителей, и их влияния на увеличение радиоактивных отходов.

**Abstract:** This paper discussed the use of boron carbide as absorber for the rods system control and protection of reactors on fast neutrons. Describes the unique structural solution absorbing elements. Also contains the comparison of boron carbide and europium, used as absorbers, and their impact on the increase of radioactive waste.

**Ключевые слова:** карбид бора, европий, поглотитель, на быстрых нейтронах, МОКС-топливо, атомная энергетика, ядерные отходы, экология.

**Key words:** boron carbide, europium, absorber, fast neutrons, MOX fuel, nuclear power, nuclear waste, ecology.

В настоящее время мировое сообщество реализует проект замыкания ядерного топливного цикла, с целью решения проблемы топливного голода в атомной энергетике, и утилизации накопившегося оружейного плутония путем повторного использования в смешанном с ураном МОКС-топливе.

Согласно энергетической стратегии РФ на период до 2030 года развитие атомной энергетике предусматривает введение в эксплуатацию реакторов на быстрых нейтронах БН-800 и БН-1200 [1]. Реактор БН-800 представляет собой двухцелевой реактор интегральной компоновки на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем, который предназначен для выработки тепловой энергии, с целью последующего ее преобразования в электрическую энергию в составе энергоблока, и наработки вторичного ядерного топлива [2].

Исполнительные механизмы (ИМ) предназначены для работы в системе управления и защиты реактора совместно с рабочими органами управления реактивностью. Данные механизмы обеспечивают не только пуск реактора, но и автоматическое

регулирование мощности, и перевод ее с одного уровня на другой, компенсацию выгорания топлива в активной зоне, а также плановую или аварийную остановку реактора.

Применение карбида бора в качестве поглотителя для стержней СУЗ реактора БН-800 обусловлено его высокими нейтронно-физическими и технологическими свойствами, удовлетворительной радиационной стойкостью, технической доступностью, хорошей изученностью его свойств и широкой применяемостью в реакторах на быстрых нейтронах.

Бытует мнение, что возможности существующих стержней использующих в качестве поглотителя нейтронов карбид бора практически исчерпаны. Ресурс их ограничен максимальным выгоранием (40–50 %) изотопа  $^{10}\text{B}$ , а создание новых конструкций на основе карбида бора, обеспечивающих требуемые высокие ресурсные возможности, весьма проблематично. Поэтому в стержнях СУЗ реакторов на быстрых нейтронах целесообразно рассмотреть поглощающие материалы на основе европия [3].

Но несмотря на то, что природный европий не склонен к радиационному набуханию и газовыделению, в отличие от карбида бора, и имеет большее радиационное сечение захвата, при поглощении им нейтрона образуются высокоактивные и долгоживущие радиоизотопы  $^{152}\text{Eu}$  (период полураспада 13,516 года) и  $^{154}\text{Eu}$  (период полураспада 8,593 года). Данный фактор существенно усложняет внедрение данного поглотителя в технологическую схему, с точки зрения экологии, тем самым отягощая непростую ситуацию с утилизацией ядерных отходов.

К недостаткам карбида бора, которые могут влиять на ресурс, можно отнести его склонность к радиационному набуханию, растрескиванию, газовыделению и взаимодействию с оболочкой.

Данные проблемы были решены в стержнях СУЗ реакторов БН-600 и БН-800 путем применения негерметичных поглощающих элементов (ПЭЛ) с реакторным заполнением натрием внутренней полости ПЭЛ.

Результаты послереакторных исследований экспериментальных, опытных и штатных ПЭЛ данного типа показали, что растрескивание вкладышей карбида бора в процессе облучения не приводит к их

фрагментации. В результате растрескивания происходит разгрузка вкладышей от возникающих напряжений. Извлеченные вкладыши, покрытые трещинами, остаются целыми. Осыпания карбида бора в зазор между вкладышем и оболочкой не отмечено. Несмотря на растрескивание, большинство вкладышей карбида бора при наличии натриевого подслоя сохраняют геометрию. Разрушение их по фрагментам происходит при вскрытии оболочек и при отмывке стержней от натрия и их длительном хранении в воде бассейна выдержки.

Распухание карбида бора под облучением в основном связано с накоплением в нём гелия и составляет: 0,5 % на 1 % выгорания бора для карбида бора с 80 % атомной долей изотопа  $^{10}\text{B}$  и 0,7 % на 1 % выгорания бора для карбида бора с естественным содержанием изотопа  $^{10}\text{B}$ .

Для исключения взаимодействия набухающего карбида бора с оболочкой и верхней и нижней заглушками ПЭЛ стержней СУЗ, ПАЗ выполнены с достаточными осевым (45 мм) и диаметральной (2 мм) зазорами [4].

Результаты послереакторных исследований, отработавших ПЭЛ показывают, что в негерметичных ПЭЛ с натриевым подслоем все же наблюдается взаимодействие карбида бора с оболочкой в виде борирования и науглероживания ее внутренней поверхности, но взаимодействие карбида бора с оболочкой не может заметным образом повлиять на работоспособность ПЭЛ и ограничивать ресурс стержней СУЗ.

Решение экологических проблем – одна из главных задач мирового сообщества. Технологический прогресс, появление новых и наращивание существующих мощностей в атомной энергетике, без замыкания ядерного топливного цикла, приведет к увеличению объема ядерных отходов. Полностью безотходное производство – далекая перспектива, но несмотря на это стоит уже сейчас задуматься о минимизации загрязнения окружающей среды радиоактивными нуклидами.

На основании вышеуказанного можно сделать вывод, что применение карбида бора в качестве поглотителя целесообразнее применения европия, с точки зрения экологических проблем.

#### Список используемых источников

1. Полтараков Г. И., Водянкин Р. Е., Кузьмин А. В. Замыкание ядерного топливного цикла в преодолении мирового дефицита энергоресурсов. Ч. 1. Современные оценки энергопотребления и энергоресурсов // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4. С. 13–16.
2. Асмолов В. Г. Российская ядерная энергетика сегодня и завтра // Теплоэнергетика. 2007. № 5. С. 2–6.
3. Рисованный В. Д., Захаров А. В., Ключков Е. П. Поглощающие материалы на основе европия для инновационных ядерных реакторов на быстрых нейтронах / Risovany V. D., Zakharov A. V., Klochkov E. P. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований / International journal of applied and fundamental research. 2012. № 8. С. 29–34.
4. Публичные отчеты Госкорпорации «Росатом» за 2009-2012 гг. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rosatom.ru/investor/presentations/> (дата обращения: 13.11.2017).

УДК 621.438

## РАЗРАБОТКА МИКРОГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

### ENGINEERING OF MICRO-GAS TURBINE FOR SMALL ENERGY

Богданец С. В., Калинин И. А., Блинов В. Л.,  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
[bogdanec1996@rambler.ru](mailto:bogdanec1996@rambler.ru), [kalininilia1996@gmail.com](mailto:kalininilia1996@gmail.com),  
[vithomukyn@mail.ru](mailto:vithomukyn@mail.ru)

Bogdanec S. V., Kalinin I. A., Blinov V. L.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В данной работе проведено проектирование микрогазотурбинной установки на основе автомобильного турбокомпрессора отечественного производства, в ходе которого был проведен ряд расчетов в том числе численное моделирование газодинамики турбомашин и технико-экономический расчет.